热应激状态下羊的体温调节

王哲奇　徐元庆*　史彬林**　毛晨羽　金　晓　闫素梅

（内蒙古农业大学动物科学学院，呼和浩特 010018）

摘　要：热应激是由高温环境所引起的，在炎热的气候条件下，当环境有效温度超过羊的等热区上限温度时，羊就会出现热应激。然而由热应激引发的不良影响广泛存在，不仅严重影响羊的生存质量，而且导致羊体温升高、生长性能降低、免疫力减弱以及肉品质下降。本文综述了导致羊产生热应激的因素以及热应激条件下的体温调节机制。在热应激的情况下，机体通过吸收环境辐射热和累积机体代谢产热，使机体获得很高的热负荷，超过了机体的散热能力。暴露在高温环境中的羊只，可通过增加机体散热消除过多的热负荷。当空气温湿度发生变化时，作为恒温动物，绵羊和山羊可以通过调整自身的产热量、采食量、饮水量、呼吸频率和行为等方式，来维持机体产热和散热的平衡。总之，羊可以利用复杂有效的散热机制维持体温平衡，适应高温环境。

关键词：山羊；绵羊；热应激；体温调节

中图分类号：S826

哺乳动物为了维持身体机能稳态，需要使体温保持在一个较小的范围内，一旦高温环境下体温偏移这个设定水平，就会产生热应激，扰乱生理活动。尽管羊具有较宽的等热区和高度的耐热性，被认为是最耐热的物种之一，但较高的环境温度仍会对它们的生理功能和生产性能产生不利的影响。高温可能会迫使羊大幅改变其生理功能以利散热，来应对高温这一不利因素，包括增加心率和呼吸频率，排汗，之后张口呼吸，有时过度流涎。此外，还会降低采食量，增加饮水量。即使如此，环境温度过高也会导致羊体表和直肠温度增加，电解质失衡，生长和生产性能降低，繁殖率下降，甚至导致死亡。当温热环境发生变化时，羊可以通过自主性和行为性方式调整自身的产热和散热，在一定范围内维持体温恒定。本文综述了引起羊产生热应激的因素及热应激状态下羊的体温调节机制。

收稿日期：2017-01-01

基金项目：国家重点研发计划项目（2016YFD0500508）

作者简介：王哲奇(1988-)，女，内蒙古呼和浩特人，博士，从事动物环境、营养与安全生产的研究。E-mail: wzq.1988@126.com

***同等贡献作者**

****通信作者：**史彬林，教授，博士生导师，E-mail：shibinlin@yeah.net

1 导致热应激的因素

一般认为，热应激是由环境高温这一应激源刺激而产生的。在等热区范围内，动物依靠物理调节和行为调节而不需要动用生物化学机制来进行自身体热调节，维持正常体温。等热区内动物的基础代谢率最低，维持正常体温的能量消耗也最低。超过等热区上限温度动物就开始出现热应激，而且温度愈高，热应激反应程度就愈严重。

环境因素（环境温度、相对湿度、太阳辐射、风速和降水等）、动物因素（品种、毛色、泌乳阶段和健康状况等）和体温调节机制（循环调节、出汗、喘息和行为等）显著影响动物和环境之间的能量交换。

1.1 环境因素

在炎热的气候条件下，较高环境温度和湿度、较强的直接和间接太阳辐射、较小的风速，是导致动物热应激的主要环境应激因素[1-4]。

在热应激的情况下，环境温度通常比体表温度高，这导致动物通过环境辐射的热和机体代谢产热的累积，获得很高的热负荷，超过了机体的散热能力[5]。当环境热负荷超过特定临界温度上限时，羊只无法自我降温和维持其生理功能，从而引起热应激。表现为直肠温度和呼吸频率增加，导致体重、平均日增重、生长率和反映受损再生能力的体总固形物含量的降低[6-10]。

太阳辐射是放牧反刍动物体温调节的主要影响因素之一。高温季节强烈的太阳辐射会快速降低羊的可感散热，如果没有遮荫措施和被毛隔热作用，羊就会吸收超过自身代谢产热的外源热，影响畜体的热平衡，引起严重的热应激[11]。暴露于太阳辐射下的母羊会提高直肠温度和呼吸频率，降低血浆丙氨酸氨基转移酶和碱性磷酸酶的活性以及钾和镁的浓度，增加非酯化脂肪酸含量和天冬氨酸氨基转移酶活性[12]。Yamamato 等[13]在奶牛上的试验表明，辐射比实际气温提供更多的热负荷。

环境湿度也是引起热应激的辅助因素之一，它与热应激程度呈正相关。在高温下，畜体主要依靠蒸发散热，而蒸发散热量与畜体蒸发面（皮肤和呼吸道）水汽压和空气水汽压之差呈正比。畜体蒸发面的水汽压由蒸发面的温度和潮湿程度决定，皮温愈高，愈潮湿（如出汗），则水汽压愈大，愈有利于蒸发散热。空气水汽压升高，畜体蒸发面水汽压与空气水汽压之差减小，则蒸发散热量亦减少，因而在高温、高湿的环境中，畜体的散热更为困难，加剧了家

畜的热应激。在 35 ℃的高温下，增加相对湿度（从 57%升高到 78%），公羊体温上升 0.6 ℃[11]，可见高湿抑制了高温时皮肤的蒸发散热。相同温度时，低相对湿度可有利于蒸发散热，减少动物的应激并提高生长和生产性能[14]；但高相对湿度会严重增加热应激的程度[7-9]。

风速主要影响动物的对流散热和蒸发散热，增加风速可以加快对流散热，因为良好的空气循环对促进通过对流的热散失十分重要，同时有助于隐汗蒸发[14]。3.5 m/s 的风速降低夏季绵羊血清皮质醇浓度，增加绵羊运动量，降低直肠温度和呼吸频率，缓解热应激[15]。高温时，只要空气温度低于皮温，增加风速有利于对流散热。但高气温下的高风速反而有利于得热。无论怎样，风速的增加总是有利于体表水分的蒸发，所以风速与蒸发散热量呈正相关。

根据 Lee 等[16]的报道，影响生理参数增加的气候因素重要性顺序是环境温度＞太阳辐射＞湿度＞风速。Costa 等[17]报道，山羊的等热区为 20~28 ℃，绵羊为 21~25 ℃。Kumar 等[18]认为山羊等热区的气候环境的界限是：13~27 ℃的空气温度，60%~70%的相对湿度，5~8 km/h 的风速，中等水平的太阳辐射。Toussaint[19]则建议奶山羊适当的温度在室内应保持 6~27 ℃（最佳 10~18 ℃）内，相对湿度为 60%~80％，风速为 0.5 m/s。

1.2　动物因素

羊体温调节效率很大程度上取决于品种和个体遗传差异。不同品种之间存在着降低代谢和内源性产热以及提高散热能力的不同[1-2]。山羊的耐热性要好于绵羊，这是因为山羊本身的水分保持能力较强，其代谢体重小，基础代谢较低，呼吸频率较快，皮肤温度较高，更易于散热[20]。地方品种羊对本地特定环境有较强的适应优势，而引入纯种羊因其有限的适应性可能特别易受热应激[21]。新生羔羊的体温调节受母羊在妊娠期间所处环境温度的影响[22]。此外，保持较低直肠温度的品种母羊所产羔羊，比较高直肠温度母羊所产的羔羊有较高的初生重[23]，这表明选择在热应激条件下可以维持正常直肠温度的母羊会在炎热的气候下产出正常初生体重的羔羊。

形态差异在耐热性和体温调节上起重要作用。短毛山羊暴露在太阳辐射下，直肠温度、皮肤温度、呼吸频率和脉搏会大幅增加，并且饲料消耗比长毛山羊少[24]。所以，长毛山羊对太阳辐射热的耐受力比短毛山羊更好。根据 Finch 等[25]报道，在炎热的沙漠，黑山羊在抵抗太阳辐射方面比白山羊有优势。虽然黑色被毛吸收更多的太阳辐射，但黑山羊能够较长时间在阳光下寻找食物。强烈的太阳辐射下，黑山羊吸收的热量 2 倍于白山羊（高于 800 W/m^2）[26]。

这导致黑山羊有较高的体表温度，但这不能被看作是一种缺点，因为太阳辐射的吸收主要发生在黑色被毛的表面附近，黑色被毛表面的高温还增加了体表-空气界面的显热流，尤其是在强风速下散失更多的热量。而在白色被毛中，太阳辐射的吸收主要发生在被毛深层中，致使机体获得更高的辐射热[27]。另外，黑山羊能够喝下等于其体重的 35%左右的水，并能有效地利用蒸发来降温。但在阴凉处，皮毛颜色之间没有区别。

2 热应激状态下的体温调节机制

热应激是动物机体对温热环境所表现出的生理反应，它涉及神经系统、内分泌系统及免疫系统的一系列活动。在热应激条件下，动物机体在一定范围内通过自我调控功能对热应激做出积极反应，动物抗热应激的调节分为自主性调节和行为性调节 2 种调节方式。

2.1 自主性调节

自主性调节是指在下丘脑体温调节中枢控制下，随机体内外环境温热性刺激信息的变动，通过增强皮肤血流量、改变呼吸频率和方式、出汗等生理反应，调节体热的散发，以保证体温保持恒定。下丘脑接收外周和中枢神经系统信息，并施加适当的激素的变化，以维持动物机体内环境的稳态。当动物遭遇紧急情况，如饥饿、创伤、炎热、寒冷、缺氧、精神紧张和恐惧时，引起交感神经系统兴奋和肾上腺机能增强，表现出交感-肾上腺髓质系统亢进，髓质分泌大量肾上腺素和去甲肾上腺素，引起应激反应[28-29]。

家畜为了保持体热平衡，机体产热与散热之间保持着一种动态平衡。舒适区内羊的身体产热和散热基本是平衡的。羊机体的热量来源包括内部代谢产热和从外部环境吸收热量 2 个方面。内部代谢产热主要包括基础代谢产热、肌肉活动产热、生产产热和体增热等，由于泌乳阶段、生产水平、遗传、采食量和饲料质量及类型等因素的不同，内部代谢产热的高低也不相同。外部得热主要来源于环境热量。当处于适温区内时，羊可以通过蒸发、传导和对流等方式保持体温相对恒定。而当温度超过羊等热区的上限后，热平衡遭到破坏，便会产生热应激。高环境温度诱导尝试通过使用不同的方式来消散其潜热，以平衡过度的热负荷。热应激时，羊会趋向于降低内部代谢产热，加快散热，并尽量减少从环境中获得热量。

在持续高温条件下，羊只通过调节血管扩张或收缩来调节流经皮肤血管的血流量，维持热量平衡。热应激时，从内脏到体表区域的血液再分布，使通过皮肤血管的血流量增加，皮温升高，增加皮肤和环境空气温度之差，以提高可感散热，特别是热应激初始阶段[1,30]，可见

心率明显升高，通过皮肤的血流量也相应增加。此外，热负荷增加血浆和体液体积，增加量与动物的体温调节需求量呈一定比例[30]。这种增加将缓冲体温的增加并且将耐受更长时间的脱水。沙漠地区，热应激山羊脱水后 48 h 后仍保持正常采食量和产奶量，这与它们维持足够血流量流经肠和乳房的能力有关[31]。因此，炎热气候下体内水分的增加是改善热应激的适应性反应。另外，皮肤血管扩张时，血液总容积增加，血液中含水量增加，处于扩张中的毛细血管中的血液水分极易渗透到组织和汗腺中，血液流向皮肤的速度影响出汗速度[32]，以促进皮肤和呼吸道的蒸发散热。血液动力学的显著变化可能归因于 2 个原因：一是控制呼吸速率的肌肉活动的增加，同时呼吸频率升高；二是外周血管床阻力的减少和动静脉吻合。这是为了增加体表血流量并且通过辐射和传导使皮肤和呼吸道的热耗散最大化。所以，热应激状态下，机体会自主性的调节增加体表和组织器官的血流量，增加热量的散失，从而维持体温稳定。

高温时，羊内分泌功能发生变化。甲状腺激素等激素的循环浓度可以根据环境条件而改变[33-34]。这些激素直接参与代谢速率调节和强制性生热，因此它们在温度调节中具有重要作用。甲状腺分泌降低，甲状腺激素浓度下降，这种变化刺激细胞减少耗氧量和产热量，导致代谢率下降，从而降低基础代谢产热[35-36]。Koluman 等[34]观察到暴露于高温条件下的羊血清甲状腺激素浓度降低，可降低基础代谢率，避免内源性产热的增加。

呼吸频率和直肠温度是炎热的天气中适应性和耐热性评价最常见的指标，因为它们与动物和环境之间最常见的热交换机制有关。山羊的平均体温（环境温度 23 ℃）为 37.6 ℃（37~39 ℃），直肠温度在 38.3~39.0 ℃之间变化[14]。在等热区之外，动物必须能够实现体温调节机制。然而，当这些机制失败时，直肠温度就会增加，导致体温过高。直肠温度每升高 1 ℃甚至更小，都足以降低大多数家畜的生长或生产性能[37-38]。相比于适温条件下，热应激山羊会出现较高的直肠温度，热应激使山羊（Comisana 羊[39-40]和 Nubian 山羊[41]）直肠温度达到 40 ℃或更高。另外，山羊暴露于高温和高湿的环境中导致颈部、耳部和大腿的皮肤温度显著升高。当环境温度升高，绵羊的耳朵和腿部散发出高比例的热量，因为这些区域占了约 23%的体表面积。由于皮肤和外界接触，受环境影响敏感，与环境温度存在较强的正相关。在环境温度升高时，机体内热量散发困难，导致热负荷积聚，皮温升高。较高的皮温可以增加体表和环境的温差，提高散热效率，减轻羊的热应激。

在热应激的情况下，环境温度通常大于皮肤表面温度，这导致高热负荷，因为动物通过常规和辐射获得大量热量。在这些情况下，水分蒸发是最有效的散热方式，通过蒸发来吸收热量，每蒸发 l mL 水分吸收 2.43 kJ 的热量[2]。羊通过出汗和呼吸系统（喘息）实现蒸发散热。羊可以在高达 43 ℃外部温度环境中，通过出汗、喘息等重要的热调节机制耐受几个小时[42]。反刍动物汗腺相对不发达，加之羊被毛的存在，皮肤出汗散热被被毛所阻止，所以，高温环境下，出汗对体温的调节作用远没有呼吸蒸发重要，当气温升高到某一限值时，羊开始呼吸急促，并张口伸舌，严重流涎，进行热性喘息，呼吸频率可达 300~400 次/min，而低温休息时仅为 10~30 次/min（绵羊为 12~20 次/min，山羊为 10~30 次/min）[43]。当环境温度由 20 ℃提高到 40 ℃，山羊呼吸率从 30 次/min 提高到 200 次/min 以上，这表明通过呼吸道水分蒸发在山羊散热方面起着重要作用。羊在热中性环境温度（12 ℃）下通过呼吸湿气仅消散了总体热的 20％左右，但在高于 35 ℃的环境温度下通过呼吸道可以达到总热损失的 60％左右[44]。在 40 ℃高温中的美利奴羊总蒸发量为 250 g/（m^2·h），而皮肤的最大蒸发量为 63 g/（m^2·h），呼吸道蒸发为皮肤蒸发的 3 倍以上[42]。所以，呼吸率是高温条件下主要散热途径，也是衡量机体热应激程度的指标之一。Appleman 等[41]观察到，当 Nubian 山羊在 40 ℃连续保持 12 d，热调节系统不再有效。但在 35 ℃时则不会。因此，Appleman 等[41]得出结论，山羊的耐热极限在 35~40 ℃之间。当高相对湿度的负荷叠加在高环境温度上时，会进一步增加绵羊的呼吸频率，这与体感温度的增加有关[45]。在高环境温度下，羔羊的呼吸速率可达为 400 次/min。然而，当温度升高到足以抑制呼吸蒸发时，呼吸速率显著降低，趋于稳定在 155~200 次/min，并且比正常浅喘息呼吸幅度更深。

由于胎儿在子宫内主要依赖于胎儿代谢产热和与母亲的热量交换[46]。在正常情况下（21~24 ℃），妊娠后期山羊胎儿体温（39.5 ℃）比母体核心体温（38.9 ℃）高 0.6 ℃[47]。当这些山羊暴露于热应激（40 ℃和 60％相对湿度）中 2 h，胎儿体温和母体的温度均升高，但胎儿体温增加的速率比母羊慢。胎儿体温这种较小的增量可能是由于子宫血流量降低和缺氧导致的胎儿代谢产热的降低。这可能会导致胎儿营养不良，最终导致胎儿发育迟缓。

2.2 行为性调节

行为性调节是指机体通过一定的行为来保持体温相对恒定。除了改变饲料和水的摄入模式之外，还包括嗜睡、懒动、寻找阴凉、避开过热的环境或向适宜的温度环境靠近、改变姿

势、减少运动和肌肉活动等。行为性调节方式是在自主性调节方式基础上进行的，是自主性调节方式的一种补充。

动物暴露于高环境温度下，高温刺激外周热感受器传递抑制性神经冲动至下丘脑内食欲中枢，抑制外侧食欲中枢，从而导致采食量的降低[44,48]。食欲表现为一种热调节机制，这是因为采食与体热产生相关，动物采食后会产生食后增热（体增热），特别是在反刍动物中，体增热是体热产生的重要来源[2,41]。采食量应该随着温度升高而降低，从而减少热量产生并使动物保持凉爽。所以，减少采食量是减少温热环境中产热的一种方式。Mendes 等[49]在 2 个气温（分别为 22~25 ℃和 32~35 ℃）条件下观察到绵羊干物质摄入量下降（从 66.3 g/kg 至 59.9 g/kg）。Salama 等[50]试验表明，在热应激期间采食量的减少不是由于采食频率的减少（热中性和热应激山羊平均每天均有 41 次进食）。然而，热应激时每次进食时间减少了 40%，这也解释了在热应激条件下采食量较低的原因。

热应激时，羊倾向于减少粗饲料的摄入，而精料的摄入增加。Bhattacharya 等[51]进行了一项试验，在低温（11~22 ℃）和高温（27~32 ℃）下让绵羊接受不同的粗饲料与浓缩料比例，结果发现，当粗精比为 75:25 时，自由采食量在低温时最大，在高温时最小（分别为 879 和 447 g）。当粗精比为 25:75 时，动物在低温下自由采食量减少至 758 g，在高温下为 652 g。所以，高温对采食量产生不利影响，当饲粮具有高纤维含量时这种不利影响变得更显著。此外，粗料采食时间也随着空气温度和湿度的增加而降低[41,51]。山羊在 20~35 ℃的温度范围内每小时平均采食 16~19 min 的干草，当温度升至 40 ℃时，它们基本停止进食；而在 40 ℃，谷物消耗量也将减少。笔者推测，热应激时羊通过减少粗饲料的摄入而降低挥发性脂肪酸的产生，从而减少能量的吸收，降低体热的产生，维持体温。

反刍时间（包括站立反刍和躺卧反刍）随空气的温度和湿度的增加而降低。绵羊反刍花费时间约为放牧或采食时间的 46%，而放牧羊白天的反刍时间约占总放牧时间的 11%[52]。根据 Yousef[53]报道，反刍主要受动物所处的环境温度的变化程度的影响，绝对空气温度是次要的。将温度从 20 ℃提高到 40 ℃导致山羊再咀嚼平均速率从 90 次/min 降到 73 次/min。

在热中性条件下，采食量是水摄入或水周转的主要决定因素。热应激时显著增加了反刍动物的水和离子损失[54]，因此增加了它们的需求。脑热传感器和调节口渴的传感器与加压素的释放在下丘脑水平相互关联，并且热防御机制被调整到动物的水平衡[55]。暴露于高温环境

的哺乳动物脱水和体液中溶质浓度的增加将减少它们的体温调节蒸发量并使体温上升[56]。这种在体温调节中的重新调节已经在喘息和出汗动物中观察到，并且是脱水动物节约用水的一个调节响应。在同时喘息和出汗的物种如山羊中，渐进式脱水导致出汗减少和呼吸率增加[56]。热应激增加山羊水的消耗，增加的水摄入主要用于通过从皮肤（出汗）和呼吸（喘息）蒸发而增加热散失[57]。随着呼吸频率增加，伴随有更多水分蒸发和水分消耗。因此，在山羊中观察到饮水量和水蒸发的显著增加[55]。Mendes 等[49]在 2 个空气温度（分别为 22~25 ℃和 32~35 ℃）下观察到绵羊水摄取量增加（从 2.13 kg/kg 干物质摄入量增至 4.04 kg/kg 干物质摄入量）。在 40 ℃环境中，水消耗量比在 35 ℃获得的峰值显著降低。饮水量、饮水频率和饮水时间同时增加[41]。将环境温度从 20 ℃增加到 38.0~39.5 ℃，持续 5.15 h，可观测到山羊血浆钠离子浓度和摩尔渗透压浓度下降，血液被稀释。这些结果表明热应激导致山羊的原发性多饮。动物喘息与出汗不同，不会导致机体失去矿物质盐，因此血浆体积能更好地保持。喘息的另一个优点涉及冷却通过鼻区域的血液，这使得脑温度保持低于深部体温。因此，缺水或断水将加强热应激效应。所以，热应激状态下，羊会增加饮水量，以补充体液损失，并通过喘息和出汗增加散热，降低体温。

改变行为和姿势也是体温调节的重要方式。高温环境下，羊会改变其行为（如寻找遮荫）和姿势（如站立太阳的垂直位置而不躺卧），以减少其从环境中获得热量，并尽量增加散热，以降低热负荷。反刍家畜主要的昼夜习惯是白天活动夜间休息。然而，在热带和亚热带地中海气候条件的炎热天气期间，放牧反刍动物倾向于躺卧并且减少白天的运动，而选择在日出之前、黎明和夜间吃草。寻求遮阳，特别是在白天炎热时，是炎热地区行为适应的一种显著形式[30]。高温时羊趋向于寻找遮荫，以减少通过辐射获得环境热量以及拉伸身体增加体表散热面积以尽可能多地散热[7]。如果没有阴影，动物将改变其姿势到相对于太阳的垂直位置，以减少热交换的有效面积[58]。对于直射阳光下的牛，空气温度从 16 ℃增加到 18 ℃，导致减少空闲躺卧时间和增加空闲站立时间，羊则倾向于拥挤，并且紧密地并肩站立以减少有效面积，避免获得更多的太阳辐射热[52]。站立时受太阳直接辐射的面积较躺卧时小，所以炎热干旱遮蔽很少的牧地上放牧的家畜，直接暴露于太阳辐射下，较长时间站立而不躺卧[11]。此外，动物站立时，与地面热传递只发生在脚与地面接触的较小面积上，增加了皮肤和地面之间的距离，减少从高温地面获得热量。在严重的热应激下，动物用水沐浴或鼻分泌物润湿其身体表

面以增加机体的蒸发散热。总之，在高温环境中，动物会通过行为反应来调节机体与其环境之间的热交换。

3　小　结

综上所述，随着环境温度、相对湿度、太阳辐射的逐渐升高及风速的降低，导致羊的产热量增加，散热量降低，致使羊产生热应激。出现直肠温度和呼吸频率增加，无机盐和酶系统失衡，生长和生产性能下降。热应激的情况下，羊可通过自主性和行为性的方式调节机体产热和散热，维持体热平衡。但这些调节方式不是单独作用，而是相互协同，共同协作，维持体温恒定。表现为：热应激时，羊会增加呼吸频率，增加饮水量，从而增加呼吸道蒸发散热；同时降低采食量，减少产热；另外，羊会寻找遮荫，改变站立或躺卧姿势，减少辐射得热。所以，羊能够耐受高温，适应极端的炎热环境。基于热应激条件下体温调节机制的复杂性，且实际生产中各个饲养地区羊的品种和气候变化规律的不同，许多研究结果尚未达成完全一致。目前国内外对羊热应激条件下体温调节的相关研究，多集中在生理和行为层面，随着相关转录组学和蛋白组学研究的快速发展，热应激对羊体温调节的分子机制已有一定的研究基础，但更深层次，更系统的分子影响机制研究尚有待开展。

参考文献：

[1] SILANIKOVE N.The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments[J].Small Ruminant Research,2000,35(3):181–193.

[2] KADZERE C T,MURPHY M R,SILANIKOVE N,et al.Heat stress in lactating dairy cows:a review[J].Livestock Production Science,2002,77(1):59–91.

[3] FUQUAY J W.Heat stress as it affects animal production[J].Journal of Animal Science,1981,52(1):164–174.

[4] DIKMEN S,ALAVA E,PONTES E,et al.Differences in thermoregulatory ability between slick-haired and wild-type lactating Holstein cows in response to acute heat stress[J].Journal of Dairy Science,2008,91(9):3395–3402.

[5] DE SOUZA R B,NASCIMENTO M R B M,IGARASI M S.Thermoregulatory characteristics of goats on tropical environment:review[J].Pubvet,2013,7(6):15–16.

[6] MARAI I F M,HABEEB A A M,DAADER A H,et al.Effects of Egyptian subtropical summer conditions and the heat-stress alleviation technique of water spray and a diaphoretic on the growth and physiological functions of Friesian calves[J].Journal of Arid Environments,1995,30(2):219–225.

[7] MARAI I F M,DAADER A M,ABDEL-SAMEE A M,et al.Winter and summer effects and their ameleoration on lactating Friesian and Holstein cows maintained under Egyptian conditions[C]//Proceedings of International Conference on Animal,Poultry,Rabbits and Fish Production and Health.Cairo:Egypt,1997.

[8] MARAI I F M,SHALABY T H,BAHGAT L B,et al.Fattening of lambs on concentrates mixture diet alone without roughages or with addition of natural clay under subtropical conditions of Egypt.Growth performance and behaviour[C]//Proceedings of International Conference on Animal Production and Health.Cairo:Egypt,1997.

[9] MARAI I F M,BAHGAT L B,SHALABY T H,et al.Fattening performance,some behavioural traits and physiological reactions of male lambs fed concentrates mixture alone with or without natural clay,under hot summer of Egypt[J].Annals Arid Zone,2000,39(4):449–460.

[10] MALIK R C,RAZZAQUE M A,AL-NASSER A Y.Sheep production in hot and arid zones[M].Kuwait:Kuwait Institute for Scientific Research,2000.

[11] 颜培实,李如治.家畜环境卫生学[M].4 版.北京:高等教育出版社,2011.

[12] SEVI A,ANNICCHIARICO G,ALBENZIO M,et al.Effects of solar radiation and feeding time on behavior,immune response and production of lactating ewes under high ambient temperature[J].Journal of Dairy Science,2001,84(3):629–640.

[13] YAMAMOTO S,YOUNG B A,PURWANTO B P,et al.Effect of solar radiation on the heat load of dairy heifers[J].Australian Journal of Agricultural Research,1994,45(8):1741–1749.

[14] PEIXOTO COSTA W,EVANGELISTA FAÇANHA D A,GURGEL MORAIS LEITE J H,et al.Thermoregulatory responses and blood parameters of locally adapted ewes under natural weather conditions of Brazilian semiarid region[J].Semina:Ciências Agrárias,2015,36(6):4589–4600.

[15] 张明,刁其玉,赵国琦,等.夏季饮水温度和圈舍使用风扇对绵羊福利的影响[J].畜牧与兽医,2009,41(6):44–46.

[16] LEE J A,ROUSSEL J D,BEATTY J F.Effect of temperature-season on bovine adrenal cortical function,blood cell profile,and milk production[J].Journal of Dairy Science,1976,59(1):104–108.

[17] COSTA M J R P D,SILVA R G D,SOUZA R C D.Effect of air temperature and humidity on ingestive behaviour of sheep[J].International Journal of Biometeorology,1992,36(4):218–222.

[18] KUMAR S,SHARMA M C,GOEL A K.Goat enterprises[M].Mathura:CIRG,2009.

[19] TOUSSAINT G.The housing of milk goats[J].Livestock Production Science,1997,49(2):151–164.

[20] ABDALLA E B,KOTBY E A,JOHNSON H D.Physiological responses to heat-induced hyperthermia of pregnant and lactating ewes[J].Small Ruminant Research,1993,11(2):125–134.

[21] SILANIKOVE N.Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants[J].Livestock Production Science,2000,67(1/2):1–18.

[22] STOTT A W,SLEE J.The effect of environmental temperature during pregnancy on thermoregulation in the newborn lamb[J].Animal Production,1985,41(3):341–347.

[23] MCCRABB G J,MCDONALD B J,HENNOSTE L M.Lamb birth weight in sheep differently acclimatized to a hot environment[J].Australian Journal of Agricultural Research,1993,44(5):933–943.

[24] ACHARYA R M,GUPTA U D,SAHGAL J P,et al.Coat characteristics of goats in relation to heat tolerance in the hot tropics[J].Small Ruminant Research,1995,18(3):245–248.

[25] FINCH V A,DMI’EL R,BOXMAN R,et al.Why black goats in hot deserts?Effects of coat color on heat exchanges of wild and domestic goats[J].Physiological Zoology,1980,53(1):19–25.

[26] MAIA A S C,DA SILVA R G,NASCIMENTO S T,et al.Thermoregulatory responses of goats in hot environments[J].International Journal of Biometeorology,2015,59(8):1025–1033.

[27] GEBREMEDHIN K G,NI H,HILLMAN P E.Modeling temperature profile and heat flux through irradiated fur layer[J].Transactions of the ASAE,1997,40(5):1441–1447.

[28] VON BORELL E H.The biology of stress and its application to livestock housing and transportation assessment[J].Journal of Animal Science,2001,79(E-Suppl.):E260–E267.

[29] SAPOLSKY R M,ROMERO L M,MUNCK A U.How do glucocorticoids influence stress responses?Integrating permissive,suppressive,stimulatory,and preparative actions[J].Endocrine Reviews,2000,21(1):55–89.

[30] SILANIKOVE N.Impact of shelter in hot Mediterranean climate on feed intake,feed utilization and body fluid distribution in sheep[J].Appetite,1987,9(3):207–215.

[31] MALTZ E,OLSSON K,CLICK S M,et al.Homeostatic responses to water deprivation or hemorrhage in lactating and non-lactating Bedouin goats[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1984,77(1):79–84.

[32] BLAZQUEZ N B,LONG S E,MAYHEW T M,et al.Rate of discharge and morphology of sweat glands in the perineal,lumbodorsal and scrotal skin of cattle[J].Research in Veterinary Science,1994,57(3):277–284.

[33] MAURYA V P,SEJIAN V,KUMAR D,et al.Effect of induced body condition score differences on sexual behavior,scrotal measurements,semen attributes and endocrine responses in Malpura rams under hot semi-arid environment[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2010,94(6):e308–e317.

[34] KOLUMAN N,DASKIRAN I.Effects of ventilation of the sheep house on heat stress,growth and thyroid hormones of lambs[J].Tropical Animal Health and Production,2011,43(6):1123–1127.

[35] OCAK S,KOLUMAN-DARCAN N,ÇANKAYA S,et al.Physiological and biochemical responses in German Fawn kids subjected to cooling treatments under Mediterranean climate conditions[J].Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences,2009,33(6):455–461.

[36] HELAL A,HASHEM A L S,ABDEL-FATTAH M S,et al.Effect of heat stress on coat characteristics and physiological responses of Balady and Damascus goats in Sinai,Egypt[J].American-Eurasian Journal of Agricultural & Environment Science,2010,7(1):60–69.

[37] MCDOWELL R E,HOOVEN N W,CAMOENS J K.Effect of climate on performance of Holsteins in first lactation[J].Journal of Dairy Science,1976,59(5):965–973.

[38] SHEBAITA M K,El-BANNA I M.Heat load and heat dissipation in sheep and goats under environmental heat stress[C]//Proceedings of the sixth International Conference on Animal and Poultry Production.Zagazig:University of Zagazig,1982:459–469.

[39] SEVI A,ALBENZIO M,ANNICCHIARICO G,et al.Effects of ventilation regimen on the welfare and performance of lactating ewes in summer[J].Journal of Animal Science,2002,80(9):2349–2361.

[40] SEVI A,ROTUNNO T,DI CATERINA R,et al.Fatty acid composition of ewe milk as affected by solar radiation and high ambient temperature[J].Journal of Dairy Research,2002,69(2):181–194.

[41] APPLEMAN R D,DELOUCHE J C.Behavioral,physiological and biochemical responses of goats to temperature,0 °to 40 ℃[J].Journal of Animal Science,1958,17(2):326–335.

[42] SWENSON M J.Dukes' physiology of domestic animals[M].New York:Cornell University Press,1989.

[43] 王宝理,张江平,陈正生.高气温环境对罗姆尼羊及湖羊生理常数的影响(1989 年)[J].江西农业大学学报,1991,13(6):356–363.

[44] MARAI I F M,EL-DARAWANY A A,FADIEL A,et al.Physiological traits as affected by heat stress in sheep-A review[J].Small Ruminant Research,2007,71(1/2/3):1–12.

[45] MARAI I F M,HABEEB A A M,GAD A E.Reproductive traits of female rabbits as affected by heat stress and lighting regime under subtropical conditions of Egypt[J].Animal Science,2004,78(1):119–127.

[46] LABURN H P,FAURIE A,GOELST K,et al.Effects on fetal and maternal body temperatures of exposure of pregnant ewes to heat,cold,and exercise[J].Journal of Applied Physiology,2002,92(2):802–808.

[47] FAURIE A S,MITCHELL D,LABURN H P.Feto-maternal relationships in goats during heat and cold exposure[J].Experimental Physiology,2001,86(2):199–204.

[48] HAMZAOUI S,SALAMA A A K,CAJA G,et al.Milk production losses in early lactating dairy

goats under heat stress[J].Journal of Dairy Science,2012,95:672–673.

[49] MENDES M A,LEAO M I,SILVA J F C D,et al.Effect of environmental temperature and ration energy level on feed and water intakes and some physiological variables in sheep[J].Journal of the Brazilian Society of Zootecnia,1976,5(2):173.

[50] SALAMA A A K,CAJA G,HAMZAOUI S,et al.Different levels of response to heat stress in dairy goats[J].Small Ruminant Research,2014,121(1):73–79.

[51] BHATTACHARYA A N,HUSSAIN F.Intake and utilization of nutrients in sheep fed different levels of roughage under heat stress[J].Journal of Animal Science,1974,38(4):877–886.

[52] ARNOLD G W,DUDZINSKI M L.Ethology of free-ranging domestic animals[M].Amsterdam:Elsevier,1978.

[53] YOUSEF M K.Stress physiology in livestock[M].Boca Raton:CRC Press,1985.

[54] BEEDE D K,COLLIER R J.Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress[J].Journal of Animal Science,1986,62(2):543–554.

[55] BAKER M A.Effects of dehydration and rehydration on thermoregulatory sweating in goats[J].The Journal of Physiology,1989,417(1):421–435.

[56] SILANIKOVE N.Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants:a review[J].Livestock Production Science,1992,30(3):175–194.

[57] HAMZAOUI S,SALAMA A A K,ALBANELL E,et al.Physiological responses and lactational performances of late-lactation dairy goats under heat stress conditions[J].Journal of Dairy Science,2013,96(10):6355–6365.

[58] HAFEZ E S E.Adaptation of domestic animals[M].Philadelphia:Lea and Febiger,1968.

Heat Stress and Thermoregulation of Sheep and Goats

WANG Zheqi XU Yuanqing* SHI Binlin** MAO Chenyu JIN Xiao YAN Sumei

（*College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot* 010018, *China*）

Abstract: The heat stress is mainly induced by high ambient temperature. The sheep/goats suffer

*Contributed equally

**Corresponding author, professor, E-mail: shibinlin@yeah.net （责任编辑 武海龙）

from heat stress when the effective ambient temperature is higher than thermoneutral zone in hot climates. However, the adverse effects caused by heat stress are widely existed, which are not only seriously affecting the quality of animals' life, but also increasing body temperature, decreasing growth performance, weakening immunity and decreasing meat quality of sheep or goat. The objective of this paper is to review the reason of heat stress and thermoregulation in sheep/goats. The sheep/goats obtain high heat load through the solar radiation heat and metabolic heat increment. The exposure of sheep/goats to elevated ambient temperatures induces an increase in the dissipation of excess body heat, in order to negate the excessive heat load. As one kind of homeothermic animals, when the ambient temperature and humidity changed, sheep and goats can adjust responses of thermoregulation such as heat production, feed intake, water intake, respiratory rate and behavior to maintain thermal balance. In summary, sheep/goats can use complex and effective heat dissipation mechanisms to maintain balance of body temperature, and to adapt to hot climate conditions.

Key words: sheep; goats; heat stress; thermoregulatory responses